

SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND FABRICATION THEREOF**Publication number:** JP9083086**Publication date:** 1997-03-28**Inventor:** TODA ATSUSHI; ISHIBASHI AKIRA**Applicant:** SONY CORP**Classification:**

- international: H01L33/00; H01L21/205; H01S5/00; H01L33/00;
H01L21/02; H01S5/00; (IPC1-7): H01S3/18;
H01L21/205; H01L33/00

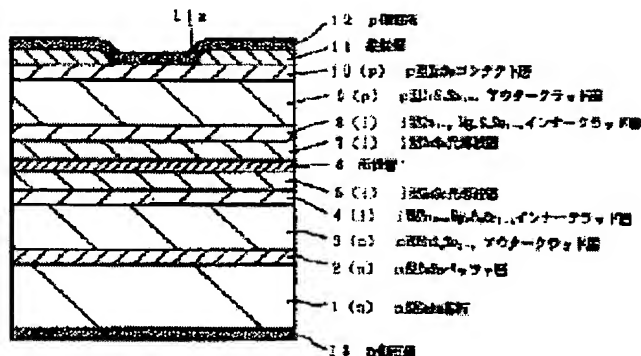
- European:

Application number: JP19950255522 19950907**Priority number(s):** JP19950255522 19950907

Report a data error here

Abstract of JP9083086

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high performance semiconductor light emitting element which can emit blue or green light using a II-VI compound semiconductor and a fabrication method thereof using metal organic CVD system. **SOLUTION:** In a semiconductor laser employing R-VI compound semiconductor, the n-side clad layer comprises a nondoped or lightly doped n-type ZnMgSSe layer 4 and an n-type ZnSSe layer 3 formed sequentially from an active layer 6 while the p-side clad layer comprises a nondoped or lightly doped p-type ZnMgSSe layer 8 and an p-type ZnSSe layer 9 formed sequentially from the active layer 6. The II-VI compound semiconductor layer constituting the semiconductor laser is grown by metal organic CVD system. The surface of underlying layer is irradiated with light during growth of n-type ZnSe buffer layer 2, n-type ZnSSe layer 3, p-type ZnSSe layer 9 and p-type ZnSe contact layer 10.



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-083086

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01L 21/205
H01L 33/00

(21)Application number : 07-255522

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 07.09.1995

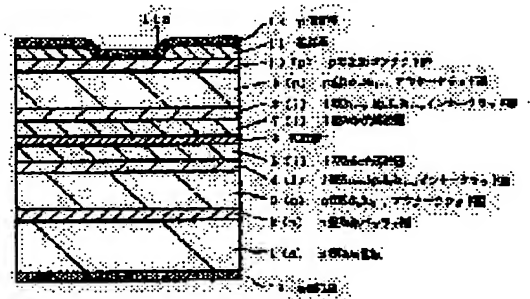
(72)Inventor : TODA ATSUSHI
ISHIBASHI AKIRA

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND FABRICATION THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high performance semiconductor light emitting element which can emit blue or green light using a II-VI compound semiconductor and a fabrication method thereof using metal organic CVD system.

SOLUTION: In a semiconductor laser employing R-VI compound semiconductor, the n-side clad layer comprises a nondoped or lightly doped n-type ZnMgSSe layer 4 and an n-type ZnSSe layer 3 formed sequentially from an active layer 6 while the p-side clad layer comprises a nondoped or lightly doped p-type ZnMgSSe layer 8 and an p-type ZnSSe layer 9 formed sequentially from the active layer 6. The II-VI compound semiconductor layer constituting the semiconductor laser is grown by metal organic CVD system. The surface of underlying layer is irradiated with light during growth of n-type ZnSe buffer layer 2, n-type ZnSSe layer 3, p-type ZnSSe layer 9 and p-type ZnSe contact layer 10.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

AM

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-83086

(43) 公開日 平成9年(1997) 3月28日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	
H 0 1 L 21/205			H 0 1 L 21/205	
33/00			33/00	D

審査請求 未請求 請求項の数11 FD (全 10 頁)

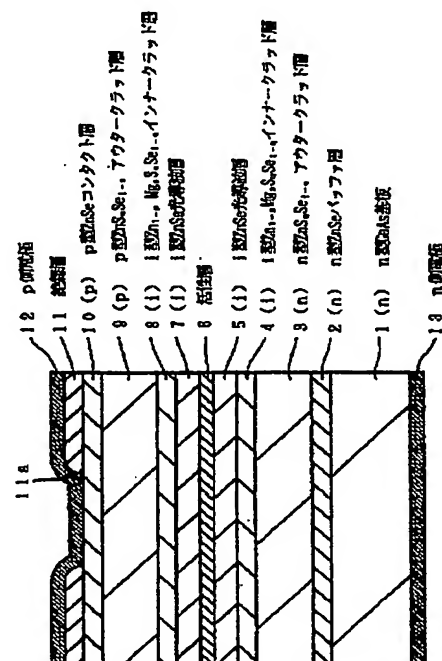
(21) 出願番号	特願平7-255522	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成7年(1995) 9月7日	(72) 発明者	戸田 淳 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	石橋 晃 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 杉浦 正知

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 I I - V I 族化合物半導体を用いた青色ないし緑色で発光可能な高性能の半導体発光素子および有機金属化学気相成長法を用いたその製造方法を提供する。

【解決手段】 I I - V I 族化合物半導体を用いた半導体レーザーにおいて、n側のクラッド層を活性層6から見て順にノンドープまたは低不純物濃度のn型のZ n M g S S e層4とn型Z n S S e層3とにより構成するとともに、p側のクラッド層を活性層6から見て順にノンドープまたは低不純物濃度のp型のZ n M g S S e層8とp型Z n S S e層9とにより構成する。半導体レーザーを構成するI I - V I 族化合物半導体層は有機金属化学気相成長法により成長させる。これらのうちn型Z n S eバッファ層2、n型Z n S S e層3、p型Z n S S e層9、p型Z n S eコンタクト層10の成長中には下地表面に光を照射する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 n 側のクラッド層と p 側のクラッド層との間に活性層をはさんだ構造を有し、上記 n 側のクラッド層、上記 p 側のクラッド層および上記活性層は $II-VI$ 族化合物半導体からなる半導体発光素子において、上記 n 側のクラッド層および上記 p 側のクラッド層のうちの少なくとも一方のクラッド層が、上記活性層から見て順にノンドープまたは不純物が低濃度にドープされた $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層（ただし、 $0 < p \leq 1$ かつ $0 \leq q \leq 1$ ）と不純物がドープされた $ZnSvSe_{1-v}$ 層（ただし、 $0 \leq v < 1$ ）とにより構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 上記一方のクラッド層の厚さは 300 nm 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 上記 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層の厚さは 200 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 上記 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層の厚さは 100 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 上記一方のクラッド層は p 側のクラッド層であり、上記 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層はノンドープまたは低不純物濃度の p 型であり、上記 $ZnSvSe_{1-v}$ 層は p 型であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 上記一方のクラッド層は n 側のクラッド層であり、上記 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層はノンドープまたは低不純物濃度の n 型であり、上記 $ZnSvSe_{1-v}$ 層は n 型であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 上記 n 側のクラッド層と上記活性層との間および上記 p 側のクラッド層と上記活性層との間にそれぞれノンドープまたは不純物がドープされた $ZnSvSe_{1-v}$ （ただし、 $0 \leq v < 1$ ）からなる光導波層が設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 上記 $ZnSvSe_{1-v}$ からなる光導波層の厚さは 100 nm 以上であることを特徴とする請求項 7 記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 n 側のクラッド層と p 側のクラッド層との間に活性層をはさんだ構造を有し、上記 n 側のクラッド層、上記 p 側のクラッド層および上記活性層は $II-VI$ 族化合物半導体からなり、上記 n 側のクラッド層および上記 p 側のクラッド層のうちの少なくとも一方のクラッド層が、上記活性層から見て順にノンドープまたは不純物が低濃度にドープされた $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層（ただし、 $0 < p \leq 1$ かつ $0 \leq q \leq 1$ ）と不純物がドープされた $ZnSvSe_{1-v}$ 層（ただし、 $0 \leq v < 1$ ）とにより構成されている

半導体発光素子の製造方法であって、

上記 n 側のクラッド層、上記 p 側のクラッド層および上記活性層の成長を有機金属化学気相成長法により行い、上記 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層以外の層のうちの少なくとも上記 $ZnSvSe_{1-v}$ 層の成長中に下地表面に光を照射するようにしたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 10】 上記光のエネルギーは上記 $ZnSvSe_{1-v}$ 層のバンドギャップエネルギー以上であることを特徴とする請求項 9 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 11】 上記光は紫外光であることを特徴とする請求項 9 記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、半導体発光素子およびその製造方法に関し、特に、 $II-VI$ 族化合物半導体を用いた半導体発光素子に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、光ディスクや光磁気ディスクに対する記録／再生の高密度化または高解像度化のために、青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子に対する要求が高まってきており、その実現を目指して研究が活発に行われている。

【0003】 このような青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子の製造に用いる材料としては、 $II-VI$ 族化合物半導体が最も有望である。特に、四元素系の $II-VI$ 族化合物半導体である $ZnMgSSe$ は、 $ZnSe$ や $ZnSSe$ に比べて大きなバンドギャップおよび低い屈折率を有するので、波長 $400 \sim 550\text{ nm}$ 帯の青色ないし緑色の半導体レーザーを $GaAs$ 基板を用いて製造するときのクラッド層の材料に適しており、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得ることができる（(1)Electron. Lett. 28, 1798(1992)）。そして、この $ZnMgSSe$ 層をクラッド層に用いた半導体レーザーに関して種々の改良がなされた結果、 $ZnCdSe$ 層を活性層、 $ZnSSe$ 層を光導波層、 $ZnMgSSe$ 層をクラッド層とする $ZnCdSe/ZnSSe/ZnMgSSe$ SCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造の半導体レーザーにおいて、室温で連続発振が達成され、その後のさらなる改良によりすでに室温で 1 時間の連続発振が達成されている（(2)Jpn. J. Appl. Phys. 33, L938(1994)、(3)IEEE Lasers and Electro-Optics Society's Annual Meeting, Boston, 1994, PDP 1.1）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上述のように $ZnMgSSe$ 層をクラッド層に用いる場合には、その直列抵抗の低減を図り、半導体レーザーの動作時に注入電流が流れやすいようにするために、この $ZnMgS$

Se層には不純物を高濃度にドーピングするのが望ましい。しかしながら、このZnMgSSe層は、不純物を高濃度にドーピングすることが本質的に難しい。この問題は、このZnMgSSe層の成長に分子線エピタキシー(MBE)法を用いた場合も、II-VI族化合物半導体の成長に最近盛んに適用が試みられている有機金属化学気相成長(MOCVD)法を用いた場合も同様に存在するのであるが、後者のMOCVD法を用いる場合にはより深刻である。

【0005】上述の問題を図7を参照して改めて説明すると、次の通りである。すなわち、図7はアクセプタ不純物として窒素(N)がドーピングされたZnMgSSeのバンドギャップ E_g と有効アクセプタ濃度 $N_A - N_D$ (ただし、 N_A はアクセプタ濃度、 N_D はドナー濃度)との関係を示す(Appl. Phys. Lett. 64, 904(1994))。図7より、ZnMgSSeのバンドギャップ E_g が大きくなるにつれて、すなわちMg組成比が大きくなるにつれて、有効アクセプタ濃度 $N_A - N_D$ が急激に減少することがわかり、これはZnMgSSeの抵抗が急激に増加することを意味する。この問題は、ZnMgSSe層を半導体レーザーのクラッド層に用いるときの障害となる。

【0006】以上は、ZnMgSSeにアクセプタ不純物としてNをドーピングする場合についてであるが、ZnMgSSeにドナー不純物をドーピングする場合についても、同様な問題が存在する。

【0007】従って、この発明の目的は、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得ることができ、しかもクラッド層の直列抵抗を低く抑えることができる、II-VI族化合物半導体を用いた青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明の第1の発明は、n側のクラッド層とp側のクラッド層との間に活性層をはさんだ構造を有し、n側のクラッド層、p側のクラッド層および活性層はII-VI族化合物半導体からなる半導体発光素子において、n側のクラッド層およびp側のクラッド層のうちの少なくとも一方のクラッド層が、活性層から見て順にノンドープまたは不純物が低濃度にドーピングされた $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層(ただし、 $0 < p \leq 1$ かつ $0 \leq q \leq 1$)と不純物がドーピングされた $ZnSuSe_{1-u}$ 層(ただし、 $0 \leq u < 1$)とにより構成されていることを特徴とするものである。

【0009】この発明の第1の発明においては、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得る見地から、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層と $ZnSuSe_{1-u}$ 層とにより構成されるクラッド層の厚さは300nm以上選ばれる。ここで、このクラッド層に含まれる

$Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層と $ZnSuSe_{1-u}$ 層との厚さは必要に応じて選ばれる。この $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層の厚さは、その直列抵抗の低減を図る見地からは、好適には200nm以下に選ばれ、より好適には100nm以下に選ばれる。

【0010】この発明の第1の発明において、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層と $ZnSuSe_{1-u}$ 層とにより構成されるクラッド層がp側のクラッド層である場合には、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層はノンドープまたは低不純物濃度のp型であり、 $ZnSuSe_{1-u}$ 層はp型である。また、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層と $ZnSuSe_{1-u}$ 層とにより構成されるクラッド層がn側のクラッド層である場合には、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層はノンドープまたは低不純物濃度のn型であり、 $ZnSuSe_{1-u}$ 層はn型である。

【0011】この発明の第1の発明の一実施形態においては、p側のクラッド層がノンドープまたは不純物が低濃度にドーピングされたp型の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層とp型の $ZnSuSe_{1-u}$ 層とにより構成されるとともに、n側のクラッド層がノンドープまたは不純物が低濃度にドーピングされたn型の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層とn型の $ZnSuSe_{1-u}$ 層とにより構成される。

【0012】この発明の第1の発明の典型的な一実施形態においては、n側のクラッド層と活性層との間およびp側のクラッド層と活性層との間にそれぞれノンドープまたは不純物がドーピングされた ZnS_vSe_{1-v} (ただし、 $0 \leq v < 1$) からなる光導波層が設けられる。ここで、この ZnS_vSe_{1-v} からなる光導波層の厚さは、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得る見地からは、好適には100nm以上である。

【0013】この発明の第2の発明は、n側のクラッド層とp側のクラッド層との間に活性層をはさんだ構造を有し、n側のクラッド層、p側のクラッド層および活性層はII-VI族化合物半導体からなり、n側のクラッド層およびp側のクラッド層のうちの少なくとも一方のクラッド層が、活性層から見て順にノンドープまたは不純物が低濃度にドーピングされた $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層(ただし、 $0 < p \leq 1$ かつ $0 \leq q \leq 1$)と不純物がドーピングされた $ZnSuSe_{1-u}$ 層(ただし、 $0 \leq u < 1$)とにより構成されている半導体発光素子の製造方法であって、n側のクラッド層、p側のクラッド層および活性層の成長を有機金属化学気相成長法により行い、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層以外の層のうちの少なくとも $ZnSuSe_{1-u}$ 層の成長中に下地表面に光を照射するようにしたことを特徴とするものである。

【0014】この発明の第2の発明において、下地表面に照射する光のエネルギーは、好適には $ZnSuSe_{1-u}$ 層のバンドギャップエネルギー以上に選ばれる。具体的には、この光として例えば紫外光が用いられる。

【0015】この発明において、II-VI族化合物半

5

導体は、亜鉛 (Zn)、マグネシウム (Mg)、カドミウム (Cd)、水銀 (Hg) およびベリリウム (Be) からなる群より選ばれた一種または二種以上のII族元素と、セレン (Se)、硫黄 (S) およびテルル (Te) からなる群より選ばれた一種または二種以上のVI族元素とにより構成される。

【0016】上述のように構成されたこの発明の第1の発明による半導体発光素子においては、n側のクラッド層およびp側のクラッド層のうちの少なくとも一方のクラッド層が、活性層から見て順にノンドープまたは不純物が低濃度にドーブされた $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層と不純物がドーブされた $ZnSuSe_{1-u}$ 層とにより構成されているので、主として、活性層側にある $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層の働きにより、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得ることができる。また、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層はノンドープまたは不純物が低濃度にドーブされたものであるため、この $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層への不純物の高濃度ドーブが難しいという問題を回避することができる。さらに、この場合、Mg組成比pが大きな $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層を用いることもできる。一方、この $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層は、ノンドープまたは不純物が低濃度にドーブされたものであるため、直列抵抗が高く、クラッド層の抵抗を増大させることが懸念されるが、 $ZnSuSe_{1-u}$ 層は不純物がドーブされたものであり、この不純物のドーブ濃度を十分に高くすることによりその抵抗を十分に低くすることができることや、 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ 層を十分に薄くすることなどにより、この問題を回避することができる。

【0017】また、上述のように構成されたこの発明の第2の発明による半導体発光素子の製造方法においては、少なくとも $ZnSuSe_{1-u}$ 層の成長中に下地表面に光を照射するようにしていることにより、この光の照射により原料化合物の分解が促進され、あるいは、この光の照射により成長中に下地表面近傍に生成される少数キャリアの作用で原料化合物の分解が促進されるため、成長中に下地表面に光を照射しない場合に比べて、原料化合物がより低温で分解される。これによって、これらの層の成長温度の低温化を図ることができるので、その分だけこれらの層に不純物が取り込まれやすくなる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、この発明の一実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0019】図1はこの発明の一実施形態による半導体レーザーを示し、その共振器長方向に垂直な断面図である。この実施形態による半導体レーザーは、SCH構造を有する利得導波型の半導体レーザーである。

【0020】図1に示すように、この実施形態による半導体レーザーにおいては、ドナー不純物として例えばシリコン (Si) がドーブされた(100)面方位のn型

6

GaAs基板1上に、ドナー不純物として例えばヨウ素 (I) がドーブされたn型 $ZnSe$ バッファ層2、ドナー不純物として例えばIがドーブされたn型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層3、ノンドープのi型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層4、ノンドープのi型 $ZnSe$ 光導波層5、例えばノンドープ $ZnCdSe$ からなる活性層6、ノンドープのi型 $ZnSe$ 光導波層7、ノンドープのi型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層8、アクセプタ不純物として例えば窒素 (N) がドーブされたp型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層9およびアクセプタ不純物として例えばNがドーブされたp型 $ZnSe$ コンタクト層10が順次積層されている。

【0021】p型 $ZnSe$ コンタクト層10上には、一方向に延在するストライプ状の開口11aを有する絶縁層11が設けられている。この絶縁層11は例えばポリイミドにより形成される。この絶縁層11およびその開口11aの部分のp型 $ZnSe$ コンタクト層10の全面にp側電極12が設けられている。このp側電極12としては例えば金 (Au) 電極が用いられる。このp側電極12が開口11aを通じてp型 $ZnSe$ コンタクト層10にコンタクトしている部分が電流の通路となり、これによって電流狭窄構造が形成されている。一方、n型GaAs基板1の裏面には、n側電極13が設けられている。

【0022】この場合、i型 $ZnSe$ 光導波層5およびi型 $ZnSe$ 光導波層7の間にアンドープ $ZnCdSe$ からなる活性層6がはさまれた構造により $ZnSe/ZnCdSe$ 単一量子井戸構造が形成されている。

【0023】n型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層3、i型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層4、i型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層8、p型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層9は、n型GaAs基板1とほぼ完全に格子整合するように組成が選ばれている。具体的には、n型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層3およびp型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層9のS組成比uは0.06に選ばれ、i型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層4およびi型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層8のMg組成比pおよびS組成比qはそれぞれ0.07および0.1に選ばれている。

【0024】また、n型 $ZnSe$ バッファ層2の厚さは例えば20nm、n型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層3およびp型 $ZnSuSe_{1-u}$ アウタークラッド層9の厚さは例えばそれぞれ500nm、i型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層4およびi型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ インナークラッド層8の厚さは例えばそれぞれ60nm、i型 $ZnSe$ 光導波層5およびi型 $ZnSe$ 光導波層7の厚さは例えばそれぞれ120nm、活性層6を構成する $ZnCdSe$ 層の厚さは例

例えば6nm、p型ZnSeコンタクト層10の厚さは例えば20nmである。

【0025】n型ZnSeバッファ層2およびn型ZnSuSei-uアウタークラッド層3の有効ドナー濃度 $N_D - N_A$ は例えばそれぞれ $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。p型ZnSuSei-uアウタークラッド層9およびp型ZnSeコンタクト層10の有効アクセプタ濃度 $N_A - N_D$ は例えばそれぞれ $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

【0026】この一実施形態による半導体レーザーにおいては、i型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層4およびi型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層8は、バンドギャップが大きく、屈折率も低いことにより、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得ることができる。一方、これらのi型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層4およびi型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層8はノンドープであるため、その直列抵抗が懸念されるが、これらのi型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層4およびi型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層8はそれぞれ厚さが60nmと十分に薄いので、その直列抵抗を十分に低く抑えることができる。しかも、n型ZnSuSei-uアウタークラッド層3およびp型ZnSuSei-uアウタークラッド層9は十分に低抵抗とすることができる。これによって、n側のクラッド層全体の抵抗およびp側のクラッド層全体の抵抗を十分に低く抑えることができ、半導体レーザーの動作時に注入電流が容易に流れるようにすることができる。

【0027】次に、上述のように構成されたこの実施形態による半導体レーザーの製造方法について説明する。

【0028】まず、(100)面方位のn型GaAs基板1を用意し、このn型GaAs基板1を例えば水酸化カリウム(KOH)の水溶液(KOH濃度は2重量%)によりエッチングし、表面清浄化を行う。次に、このn型GaAs基板1を例えば常圧MOCVD装置の成長室(リアクター)内に入れた後、この成長室内において水素(H_2)雰囲気中で例えば600℃、15分の条件で熱処理を行い、表面の酸化物を除去する(サーマルクリーニング)。なお、この成長室は、例えば石英製の縦型のものである。

【0029】次に、このようにして表面清浄化処理を行ったn型GaAs基板1上に、MOCVD法により、n型ZnSeバッファ層2、n型ZnSuSei-uアウタークラッド層3、i型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層4、i型ZnSe光導波層5、ノンドープZnCdSeからなる活性層6、i型ZnSe光導波層7、i型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層8、p型ZnSuSei-uアウタークラッド層9およびp型ZnSeコンタクト層10を順次成長させる。

【0030】このMOCVD法による成長においては、

Zn原料として例えばジメチル亜鉛(DMZn)、Cd原料として例えばジメチルカドミウム(DMCd)、S原料として例えばジエチル硫黄(DES)、Mg原料として例えばビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウム($(\text{MeCp})_2\text{Mg}$)、Se原料として例えばジメチルセレン(DMSe)を用いる。また、ドナー不純物であるIのドーパントとしては例えばヨウ化エチル(EI)を用い、アクセプタ不純物であるNのドーパントとしては例えばジイソプロピルアミン(Di-PNH)を用いる。

【0031】また、これらの層の成長温度は、n型ZnSeバッファ層2およびn型ZnSuSei-uアウタークラッド層3は例えばそれぞれ360℃、i型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層4、i型ZnSe光導波層5、i型ZnSe光導波層7およびi型Zn1-p Mg p Sq Sei-q インナークラッド層8は例えばそれぞれ480℃、p型ZnSuSei-uアウタークラッド層9およびp型ZnSeコンタクト層10は例えばそれぞれ330℃、ノンドープZnCdSeからなる活性層6は例えば440℃である。

【0032】さらに、この場合、特に、n型ZnSeバッファ層2、n型ZnSuSei-uアウタークラッド層3、p型ZnSuSei-uアウタークラッド層9およびp型ZnSeコンタクト層10の成長は、例えば高圧水銀ランプにより発生された光(例えば、いわゆるi線(波長365nm))をその下地表面に照射しながら行う。このように成長中に下地表面に光を照射することにより、上述のように、n型ZnSeバッファ層2およびn型ZnSuSei-uアウタークラッド層3の成長温度は360℃、p型ZnSuSei-uアウタークラッド層9およびp型ZnSeコンタクト層10の成長温度は330℃と、これらの層をMBE法により成長させるときの成長温度に近い温度に成長温度を低温化することができる。

【0033】次に、p型ZnSeコンタクト層10上に例えばポリイミドを塗布した後、これを所定形状にパターニングすることにより、一方向に延在する所定幅の開口11aを有する絶縁層11を形成する。

【0034】次に、絶縁層11およびその開口11aの部分のp型ZnSeコンタクト層10の全面に例えばAu膜を真空蒸着してp側電極12を形成する。この後、n型GaAs基板1の裏面にn側電極13を形成する。

【0035】次に、以上のようにしてレーザー構造が形成されたn型GaAs基板1をバー状に劈開して両共振器端面を形成した後、このバーを劈開してチップ化し、パッケージングを行う。

【0036】図2は、この実施形態による半導体レーザーの発光部の近傍における光の閉じ込め分布を計算により求めた結果を示す。図2の縦軸は、共振器長方向に垂直でかつ接合面に平行な方向の電界ベクトル成分の二乗

($|E_y|^2$) である。ただし、この計算においては、ZnCdSe からなる活性層 6 の厚さは通常 10 nm 以下で薄いことによりこの活性層 6 を省略し、また、i 型 ZnSe 光導波層 5 および i 型 ZnSe 光導波層 7 の合計の厚さを 100 nm とした。さらに、i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 4 および i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 8 の屈折率は 2.62、i 型 ZnSe 光導波層 5、7 の屈折率は 2.73 とした。

【0037】図 2 からわかるように、光分布の半値幅は約 230 nm である。この場合、i 型 ZnSe 光導波層 5 および i 型 ZnSe 光導波層 7 の合計の厚さが 100 nm であるので、光分布は、i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 4 および Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 8 にそれぞれ 65 nm ずつ広がっていることになる。従って、これらの i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 4 および i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 8 の厚さはそれぞれ 60 nm 程度あれば光閉じ込めはほぼ十分であり、100 nm あれば十分である。なお、活性層 6 を入れた場合には、さらに光閉じ込めが良くなり、光分布の半値幅はより狭くなる。

【0038】上述のように、n 型 ZnSe バッファ層 2、n 型 Zn_{1-u}Se_{1-u} アウタークラッド層 3、p 型 Zn_{1-u}Se_{1-u} アウタークラッド層 9 および p 型 ZnSe コンタクト層 10 の成長はその下地表面に光を照射しながら行っているが、このうち特に、アクセプタ不純物である N のドーパントとして Di-PNH を用いて成長された p 型 ZnSe コンタクト層 10 については、N を 10^{18} cm^{-3} 以上の濃度までドーピングすることができることがわかった。

【0039】すなわち、図 3 は、Se 原料である DMS e、Zn 原料である DMZn、N のドーパントである Di-PNH の流量をそれぞれ $22 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、 $11 \mu\text{mol}/\text{分}$ および $11 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、成長温度を 330°C 、高圧水銀ランプにより発生される光 (i 線) の強度を $0.1 \text{ mW}/\text{cm}^2$ とし、n 型 GaAs 基板上に光照射を行いながら p 型 ZnSe 層を成長させた試料の深さ方向の N 分布を二次イオン質量分析 (SIMS) 法により測定した結果を示す。図 3 より、確かに N が 10^{18} cm^{-3} の高濃度にドーピングされていることがわかる。なお、この試料は、より詳しくは、n 型 GaAs 基板上にノンドープの ZnSe バッファ層、p 型 ZnSe 層、ノンドープの ZnSe 層および p 型 ZnSe 層を順次積層したものである。また、光の強度を $50 \text{ mW}/\text{cm}^2$ まで高くして同様な実験を行ったが、N 濃度に変化は見られなかった。すなわち、光の強度と ZnSe の N 濃度との間には関係がなかった。

【0040】この実施形態による半導体レーザーを液体窒素温度 (77 K) でパルス動作させたときの光出力—

電流特性および電圧—電流特性の測定結果の一例を図 4 に示す。ただし、測定に用いた半導体レーザーのストライプ幅 (絶縁層 11 の開口 11a の幅) は $10 \mu\text{m}$ 、共振器長は 1 mm である。また、n 側電極 13 としては銀ペーストを用いた。測定に当たっては、この半導体レーザーをヒートシンクに装着し、 77 K で電流注入を行った。

【0041】図 4 からわかるように、この半導体レーザーのしきい値電流 I_{th} は約 180 mA (しきい値電流密度 J_{th} で $1.8 \text{ kA}/\text{cm}^2$) である。図 4 に示されている他の試料の結果も合わせると、しきい値電流 I_{th} は $90 \sim 180 \text{ mA}$ である。また、駆動電圧も約 1.3 V と低いことがわかる。

【0042】図 5 は、この半導体レーザーのフロント側の端面の前面に偏光板を置き、電流注入を行ったときの光出力—電流特性を測定した結果を示す。図 5 より、強い TE 偏光が見られる。

【0043】図 6 はこの半導体レーザーを 77 K でパルス駆動したときの発光スペクトルの測定結果の一例を示す。図 6 において、(a) は注入電流がしきい値電流よりも低い場合、(b) は注入電流がしきい値電流以上の場合である。ただし、注入電流のパルス幅は $1 \mu\text{s}$ 、繰り返し周波数は 100 Hz である。

【0044】図 6 より、注入電流がしきい値電流よりも低い場合、すなわちレーザー発振が起きていないときの発光ピークの半値幅は約 5 nm と大きい。注入電流がしきい値電流以上の場合、すなわちレーザー発振が起きているときの発光ピークの半値幅は 1.1 nm 以下と小さい。このレーザー発振が起きているときの発光ピークは波長 473.3 nm (青緑色) 付近で観測される。

【0045】また、この半導体レーザーが発振しているときの遠視野像を観測したところ、ビームが接合面に垂直な方向に長くなっているのが観測され、屈折率差の大きい方向にビームの光強度分布が広がる傾向が見られた。

【0046】以上のように、この実施形態によれば、i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 4 および n 型 Zn_{1-u}Se_{1-u} アウタークラッド層 3 により n 側のクラッド層が構成されるとともに、i 型 Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q} インナークラッド層 8 および p 型 Zn_{1-u}Se_{1-u} アウタークラッド層 9 により p 側のクラッド層が構成されているので、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得ることができ、しかも n 側のクラッド層および p 側のクラッド層とも直列抵抗を低く抑えることができる。

【0047】また、n 型 ZnSe バッファ層 2、n 型 Zn_{1-u}Se_{1-u} アウタークラッド層 3、p 型 Zn_{1-u}Se_{1-u} アウタークラッド層 9 および p 型 ZnSe コンタクト層 10 を MOCVD 法により成長させる際に下地表面に光を照射するようにしているので、これらの層の成

長温度の低温化を図ることができる。これによって、その分だけこれらの層の成長時に不純物が取り込まれやすくなり、不純物を高濃度にドーピングすることが可能である。特に、p型ZnSeコンタクト層10は、アクセプタ不純物であるNのドーパントとしてDi-PNHを用いることおよび成長中に下地表面に光照射を行うことにより、すでに述べたようにNを 10^{18} cm^{-3} と高濃度にドーピングすることが可能である。

【0048】以上により、レーザー構造を構成するII-VI族化合物半導体の成長にMOCVD法を用いて、77Kにおいて波長473.3nmの青緑色で発振可能なSCH構造を有する利得導波型の半導体レーザーを実現することができる。本発明者が知る限り、MOCVD法により成長されたII-VI族化合物半導体による半導体レーザーにおいて77Kでレーザー発振を達成したのは、これが最初である。

【0049】以上、この発明の一実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0050】例えば、上述の実施形態におけるi型Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}インナークラッド層4およびi型Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}インナークラッド層8の代わりにそれぞれ低不純物濃度のn型Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}インナークラッド層および低不純物濃度のp型Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}インナークラッド層を用いてもよい。

【0051】また、上述の実施形態におけるi型ZnSe光導波層5およびi型ZnSe光導波層7の代わりにそれぞれn型ZnSe光導波層およびp型ZnSe光導波層を用いてもよい。

【0052】さらに、上述の実施形態においては、MOCVD法による成長中に下地表面に照射する光として高圧水銀ランプによるi線を用いているが、このi線の代わりに、高圧水銀ランプによるh線(波長405nm)やg線(波長436nm)を用いてもよい。さらに、この光としては、例えばエキシマレーザーによるレーザー光を用いてもよく、具体的には、XeClエキシマレーザーによる波長308nmのレーザー光、KrFエキシマレーザーによる波長248nmのレーザー光、XeFエキシマレーザーによる波長351nmのレーザー光などを用いてもよい。

【0053】また、上述の実施形態においては、アクセプタ不純物であるNのドーパントとしてDi-PNHを用いているが、このDi-PNHの代わりに、Nを含む他の有機化合物、例えばジプロピルアミン(D-BNH)やターシャリブチルアミン(t-BN)などを用いてもよい。

【0054】また、上述の実施形態においては、p型ZnSeコンタクト層10にp側電極12が直接コンタ

トしているが、例えば、p型ZnSeコンタクト層10上にそれぞれアクセプタ不純物として例えばNがドーピングされたp型ZnSe層(量子井戸層)とp型ZnTe層(障壁層)とが交互に積層されたp型ZnSe/ZnTe多重量子井戸(MQW)層およびアクセプタ不純物として例えばNがドーピングされたp型ZnTeコンタクト層を順次積層し、このp型ZnTeコンタクト層上にp側電極をコンタクトさせるようにしてもよい。ここで、p型ZnTeコンタクト層にp側電極をコンタクトさせるのは、p型ZnTeコンタクト層にはNを 10^{19} cm^{-3} 程度に高濃度にドーピングすることができ、良好なオーミック特性を得ることができるからである。また、p型ZnSe/ZnTeMQW層を設けるのは、p型ZnSeコンタクト層とp型ZnTeコンタクト層とを直接接合すると、接合界面において価電子帯に大きな不連続(約0.8eV)が生じ、これがp側電極12からp型ZnTeコンタクト層に注入される正孔に対する障壁となることから、この障壁を実効的になくすためである。このために、p型ZnSe/ZnTeMQW層のp型ZnTe層からなる量子井戸層のそれぞれに形成される第1量子準位がp型ZnSeおよびp型ZnTeの価電子帯の頂上のエネルギーと一致し、しかも互いに等しくなるように、p型ZnTe層の厚さをp型ZnSeコンタクト層10からp型ZnTeコンタクト層に向かって段階的に増加させる。この場合、p側電極12としては、Pd膜、Pt膜およびAu膜が順次積層されたPd/Pt/Au電極が好適に用いられる。

【0055】また、上述の実施形態において用いた電流狭窄構造は一例に過ぎず、これと異なる電流狭窄構造を用いてもよい。

【0056】また、上述の実施形態においては、SCH構造を有する半導体レーザーにこの発明を適用した場合について説明したが、この発明は、DH構造(Double Heterostructure)を有する半導体レーザーに適用することも可能である。

【0057】さらに、上述の実施形態においては、この発明を半導体レーザーに適用した場合について説明したが、この発明は、II-VI族化合物半導体を用いた発光ダイオードに適用することも可能である。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、この発明による半導体発光素子によれば、n側のクラッド層およびp側のクラッド層のうちの少なくとも一方のクラッド層が、活性層から見て順にノンドープまたは不純物が低濃度にドーピングされたZn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}層(ただし、 $0 < p \leq 1$ かつ $0 \leq q \leq 1$)と不純物がドーピングされたZn_{1-u}Se_{1-u}層(ただし、 $0 \leq u < 1$)とにより構成されているので、良好なキャリア閉じ込め特性および光閉じ込め特性を得ることができるとともに、クラッド層の直列抵抗を低く抑えることができ、これによって高性能

13

のⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体を用いた青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子を実現することができる。

【0059】また、この発明による半導体発光素子の製造方法によれば、この発明による半導体発光素子を製造するに際し、n側のクラッド層、p側のクラッド層および活性層の成長を有機金属化学気相成長法により行い、Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}層以外の層のうちの少なくともZn_{1-u}Se_{1-u}層の成長中に下地表面に光を照射するようにしているので、有機金属化学気相成長法を用いてこの発明による半導体発光素子を製造することができ

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施形態による半導体レーザーの共振器長方向に垂直な断面図である。

【図2】この発明の一実施形態による半導体レーザーの発光部の近傍における光場の分布の計算結果を示す略線図である。

【図3】Di-PNHをNのドーパントとして用い、かつ成長中に光照射を行ってMOCVD法により成長されたp型ZnSe層のN濃度分布をSIMS法により測定した結果を示すグラフである。

【図4】この発明の一実施形態による半導体レーザーを77Kでパルス駆動したときの光出力-電流特性および

14

電圧-電流特性の測定結果を示すグラフである。

【図5】この発明の一実施形態による半導体レーザーを77Kでパルス駆動したときの光出力-電流特性の偏光特性依存性を測定した結果を示すグラフである。

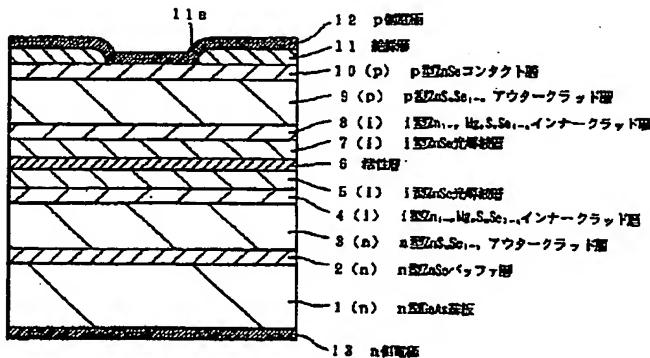
【図6】この発明の一実施形態による半導体レーザーを77Kでパルス駆動したときの発光スペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図7】ZnMgSSeのバンドギャップと有効アクセプタ濃度との関係を示すグラフである。

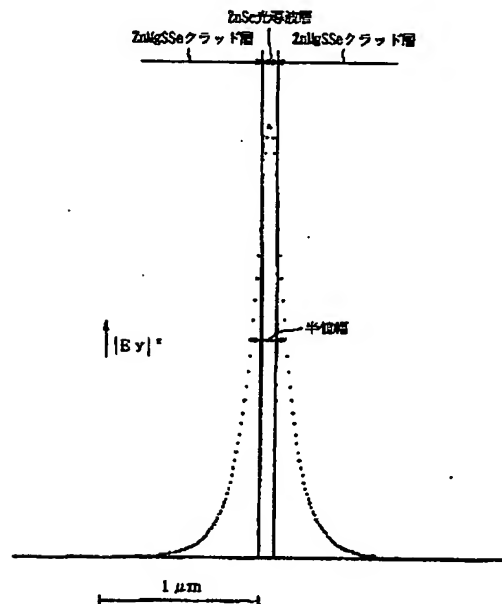
【符号の説明】

- 1 n型GaAs基板
- 2 n型ZnSeバッファ層
- 3 n型Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}アウタークラッド層
- 4、8 i型Zn_{1-p}Mg_pSe_{1-q}インナークラッド層
- 5、7 i型ZnSe光導波層
- 6 活性層
- 9 p型Zn_{1-u}Se_{1-u}アウタークラッド層
- 10 p型ZnSeコンタクト層
- 11 絶縁層
- 12 p側電極
- 13 n側電極

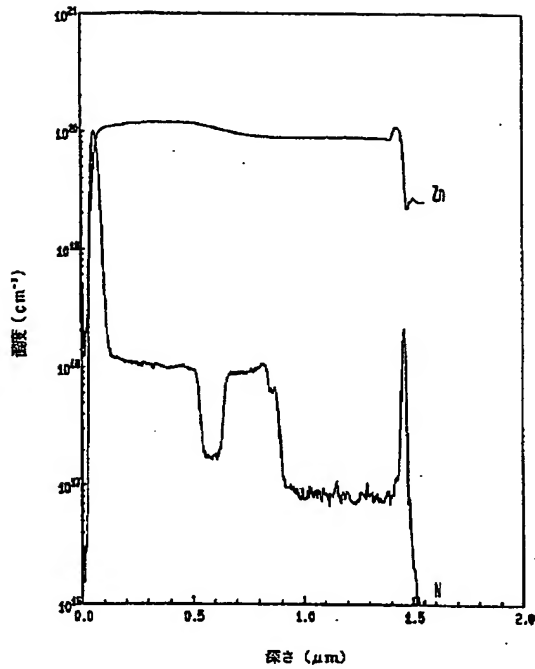
【図1】



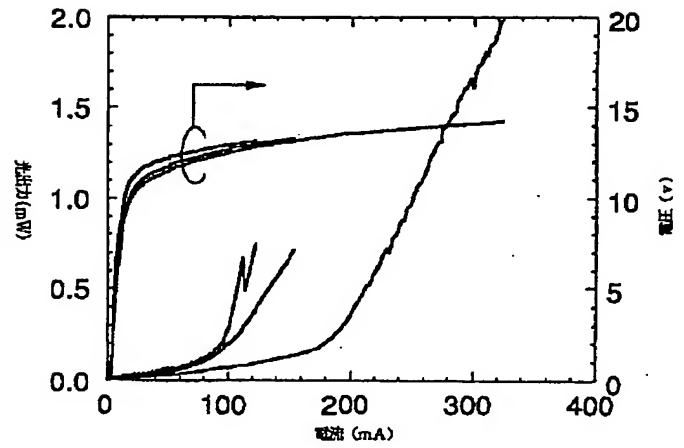
【図2】



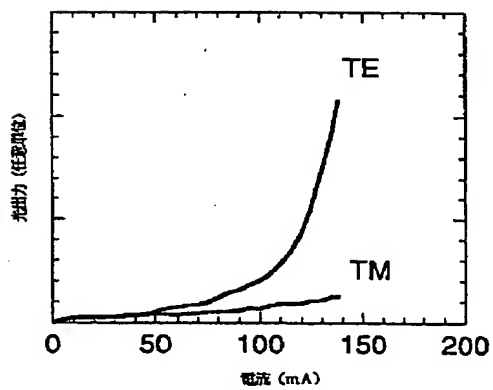
【図3】



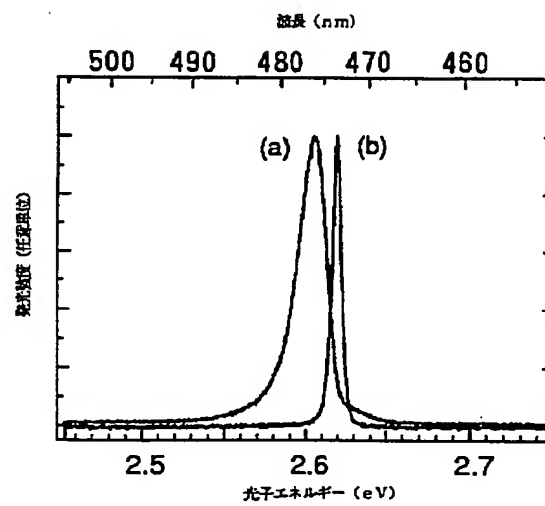
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

